**5M**

**УДК 004.9**

***С.В. Мащенко, А.Н. Заднепрянный***
Институт проблем искусственного интеллекта
МОН Украины и НАН Украины, г. Донецк
Украина, 83048, г. Донецк, ул. Артема, 118 б

# Робот, шагающий по лестнице

***S.V.Maschenko, A.N.Zadnepryanny***
*Institute of Artificial Intelligence*
*MES of Ukraine and NAS of Ukraine, c. Donetsk*
*Ukraine, 83048, c. Donetsk, Artema st., 118 b*

# *Robot walking on a stair*

***С.В. Мащенко, О.М. Задніпрянний***
Інститут проблем штучного інтелекту
МОН України і НАН України, м. Донецьк
Україна, 83048, м. Донецьк, вул. Артема 118 б

# Робот, що крокує по сходах

В статье рассматривается вариант реализации шагающей системы мобильного робота, предназначенного для выполнения операций в среде, опасной для человека. Конструкция робота позволяет сбалансировано двигаться по стандартным лестничным пролетам зданий.
**Ключевые слова:** робот, шагающая система, балансировка.

The article discusses the walking embodiment of the mobile robot designed to operate in an environment dangerous to human-beings. The design allows the robot to move well in the bays of buildings.
**Key Words**: robot, striding system, control system,balancing.

У статті розглядається варіант реалізації крокуючої системи мобільного робота, призначеного для виконання операцій в середовищі, небезпечному для людини. Конструкція робота дозволяє збалансовано рухатися по стандартних сходових прольотах будівель.
**Ключові слова**: робот, крокуюча система, балансування.

## Введение

Ходьба является динамической и сложной для решения задачей робототехники, особенно в случаях движения по лестнице и преодоления препятствий. В мире были сделаны несколько роботов, которые могут ходить на двух ногах, однако они по качеству хождения не приблизились к движению человека. В мировой практике разработчиками было проведено много исследований по типу движения человека. Рассмотрим некоторые из применяемых разработчиками методов:

– Техника ZMP – или Точки нулевого момента.

Zero Point момент (ZMP) является алгоритмом, используемым роботами, в частности таким, как Honda – ASIMO. Бортовой компьютер робота пытается регулировать сумму всех сил, действующих на робота, нейтрализуя остаточные моменты, вызывающие вращение и падение робота. Тем не менее, эта походка не похожа на то, как обычно ходит человек, эта разница хорошо заметна для наблюдателя, робот (ASIMO) ходил вприсядку.

– Прыжковое движение.

Несколько роботов, построенных в Массачусетском технологическом институте в лаборатории ног, успешно продемонстрировали динамичную ходьбу. Изначальная конструкция робота, с одной очень небольшой ногой, может оставаться в вертикальном положении, используя просто прыжки. Когда робот падает в одну из сторон, чтобы выровнять своё падение, он двигается прыжками в том же направлении, что и падение.

– Динамическая балансировка.

Более продвинутым способом хождения робота является использование алгоритма динамического баланса, который является потенциально более надежным, чем техника нулевой точки момента (ZMP), так как эта технология постоянно контролирует движения робота и ставит ноги так, чтобы сохранить стабильность положения корпуса.

– В Волгоградском государственном техническом университете на кафедре теоретической механики разработаны машины другого типа – с работающими в противофазе цикловыми механизмами шагания и ортогональными механизмами шагания, имеющими несколько приводов во взаимно перпендикулярных плоскостях [1].

# Конструкция шагающего робота

В основу конструкции шагающей системы положен принцип минимальной достаточности. Шагающее движение реализовано всего на двух электродвигателях. Для увеличения длины шага третий маломощный электропривод обеспечивает балансировку конструкции за счет перемещения балансировочного груза, в роли которого используется аккумуляторная батарея. Разработанная шагающая система существенно проще и намного дешевле зарубежных аналогов.

На рис. 1 показан общий вид шагающего робота с электромеханическим манипулятором.

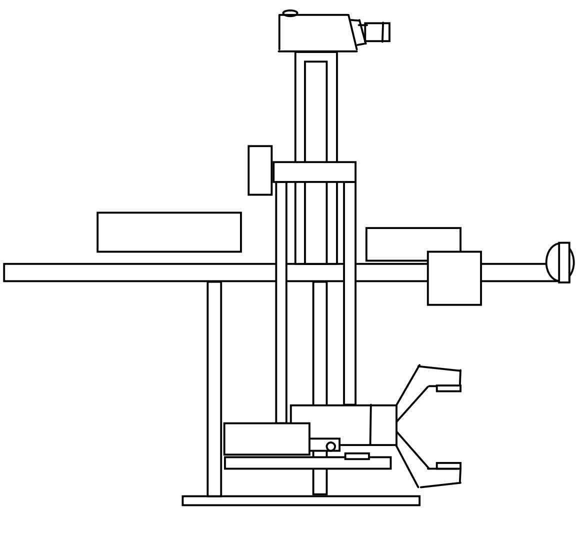


Рисунок 1 – Шагающий робот с манипулятором

Основными и минимальными средствами шагающей системы являются две ноги, которые могут перемещаться относительно друг друга в продольном и вертикальном направлениях. Ногой условно называем механизм, обеспечивающие требуемые функции. Одна нога может перемещаться только влево-вправо, вторая только вверх-вниз. Изменение направления движения обеспечивается механизмом поворота, который на рисунке не показан.

В основе конструкции оппозитного шагающего механизма два винтовых механизма с прямолинейными направляющими и каретками. Механизмы унифицированы,

но отличаются моментами и продольными скоростями. Для балансировки робота при ходьбе разработан механизм балансировки с гибким приводящим элементом.

На рис. 2 показан вид сбоку шагающей системы. На рисунках обозначены 1 и 1.1 – каретки и электроприводы механизма горизонтального перемещения, 2 и 2.1 – каретка и электропривод механизма вертикального перемещения, 3 и 3.1 каретка и электропривод механизма балансировки, 4 – балансировочный груз.

Для обеспечения достаточной эффективности балансировки был разработан механизм балансировки с гибким приводящим элементом балансировочного груза. Робот сохраняет устойчивость при движении по лестницам и по неровным поверхностям.

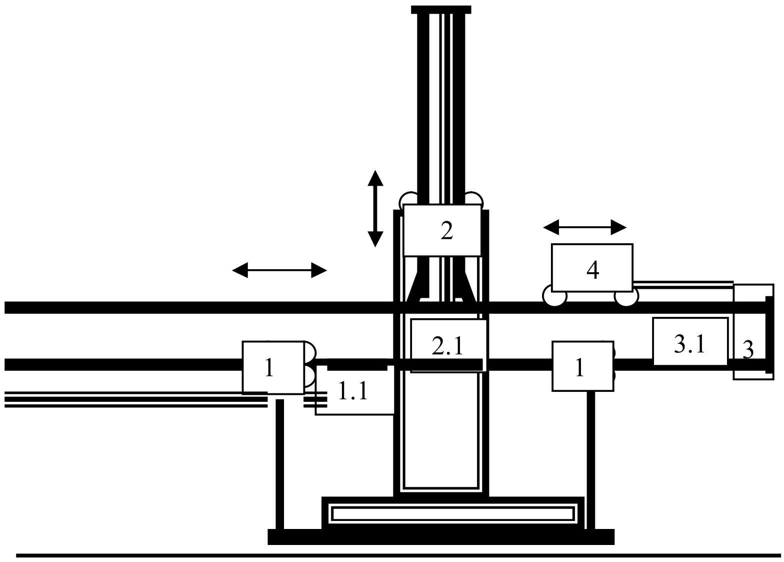



Рисунок 2 – Шагающий робот, вид сбоку

По конструкции шагающей системы робота и по системам управления робота получены патенты Украины [5], [7], [8-10].

## Алгоритм движения по лестнице

Рассмотрим один из вариантов движения шагающего механизма – движение по лестнице.

На последующих рисунках вертикальной стрелкой, направленной вниз, показано положение центра тяжести механизма. На рис. 3 показано исходное положение механизма, две опоры стоят у основания лестницы. Символ < > обозначает возможность горизонтального перемещения относительно направляющих. Этим символом на рисунках отмечен балансировочный груз. На рис. 4 показан подъем внешней опоры относительно внутренней. На рис. 5 балансировочный груз смещен влево, а внешняя опора перемещена вперед и находится над следующей ступенькой. На рис. 6 внешняя опора установлена на следующую ступеньку. На рис. 7 балансировочный груз смещен вперед. На рис. 8 поднята внутренняя опора. На рис. 9 внутренняя опора перемещена вперед и находится над следующей ступенькой. На рис. 10 внутренняя опора установлена на следующей ступеньке.

В положении, показанном на рис. 10, балансировочный груз перемещается влево, и после этого получаем исходное положение, показанное на рис. 3. В дальнейшем последовательность перемещений повторяется.

Движение по лестнице вниз происходит в обратной последовательности.

Возможны и другие алгоритмы шагающего движения. Движение по лестнице и по ровной поверхности может происходить и без участия механизма балансировки, но с уменьшением длины шага.

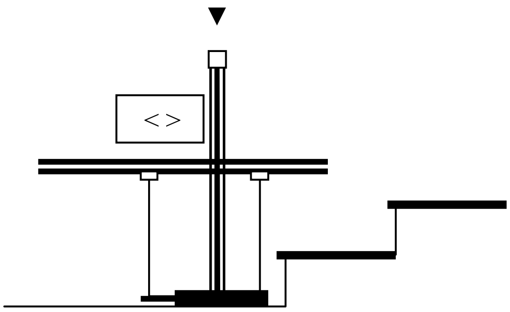


Рисунок 3

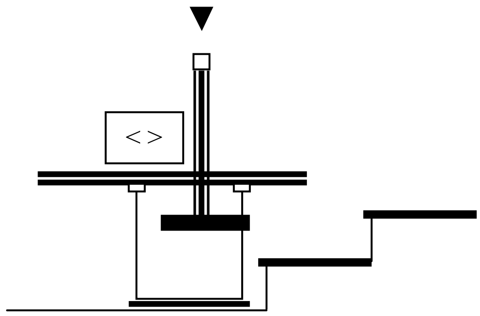


Рисунок 4

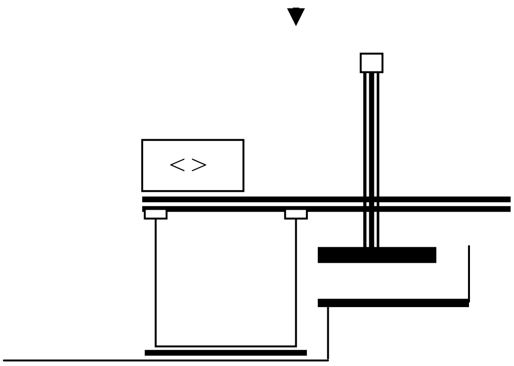


Рисунок 5

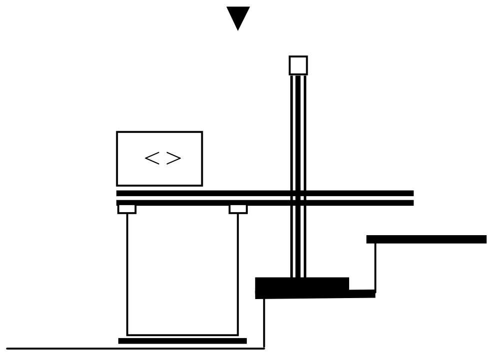


Рисунок 6

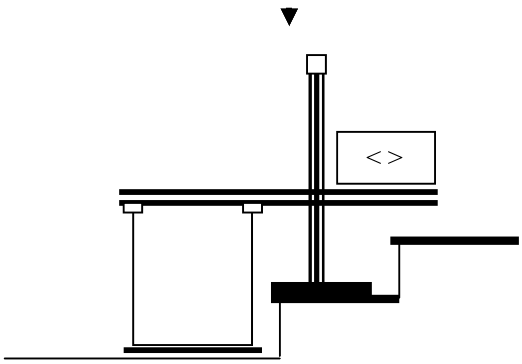


Рисунок 7

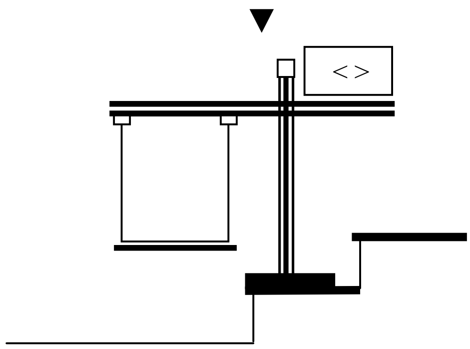


Рисунок 8

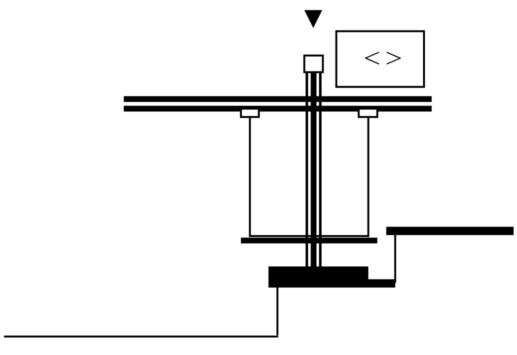


Рисунок 9

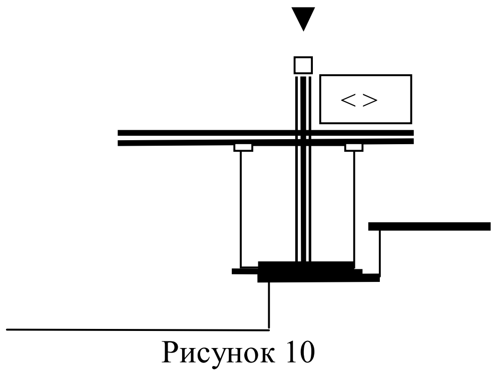


Рисунок 10

Внешний вид шагающего робота показан на рис. 11. По конструкции шагающей системы робота получен патент Украины [7].



Рисунок 11 – Шагающий робот

# Выводы

Разработанная шагающая система существенно проще и намного дешевле зарубежных аналогов и при этом обеспечивает шагание по лестнице.

Работа шагающей системы может происходить по различным алгоритмам и требует развитого аппаратного и программного обеспечения.

Разработанная шагающая система была испытана на многочисленных физических моделях, показала работоспособность, достаточную грузоподъемность и соответствует требованиям для движения по стандартным лестничным пролетам.

В целом разработана шагающая система новой конструкции, на нее и ее составные части получены патенты. Разработанный шагающий робот представляет собой практическую конструкцию для работы в среде, опасной для человека.

# Литература

1. Жога В.В. Концепция системы управления шагающим роботом для разминирования / Жога В.В.// Искусственный интеллект. – 2002. – № 4. – С. 351-355.
2. Шевченко А.И. Малогабаритный интеллектуально механический мобильный робот / А.И. Шевченко, С.В. Мащенко // Интеллектуальные многопроцессорные системы : тезисы докладов международной конференции ИМС – 99. – Таганрог-Россия, 1999. -С. 109-110.
3. Мащенко С.В. Маневренный робот «Интеллект-9» / С.В. Мащенко, И.В. Шинкарев // Искусственный интеллект. – 2000. – № 1. – С. 105-108.
4. Шевченко А.И. Мобильный робот «Интеллект-12» / А.И. Шевченко, С.В. Мащенко // Искусственный интеллект. – 2002. – № 4.
5. Патент № 62142 А Україна, МКИ6 G06F3/05 Спосіб аналого-цифрового перетворення та пристрій для його реалізації / Мащенко С.В. Приоритет 12.2002 Опуб. 15.12.200, .Бюл. № 12.
6. Мащенко С.В. Системы управления маневренного робота с автоматической градуировкой / С.В. Мащенко // Искусственный интеллект. – 2006. – № 1.
7. Патент № 87719 Україна. Мобільний крокуючий робот / Мащенко С.В., Задніпрянний О.М. Опуб.

10.08.2009, Бюл. № 15
8. Патент № 89090 Україна. Автоматичний зарядний пристрій / Мащенко С.В. Опуб. 25.12.2009, Бюл. № 24
9. Патент № 62557 Україна. Система контролю і керування віддаленими об`єктами / Мащенко С.В. Зареєстровано 12.09.2011.
10. Патент України на винахід № 96197 Пристрій керування об`єктом / Мащенко С.В. Зареєстровано 10.10.2011.

# Literatura

1. Zhoga V.V. Iskusstvennyj intellekt. № 4. 2002.S. 351-355.
2. Shevchenko A.I. Intellektual'nye mnogoprocessornye sistemy. Tezisy dokladov mezhdunarodnoj konferencii IMS.99 -Taganrog-Rossija. 1999. S.109-110.
3. Mashhenko S.V. Iskusstvennyjintellekt.2000. № 1. S.105-108.
4. Shevchenko A.I. Iskusstvennyjintellekt. Mezhdunarodnyjnauchno-teoreticheskijzhurnal.2002. № 4.
5. Patent Ukrainy N62142 A , MKI6 G06F3/05 Sposibanalogo-cyfrovogo peretvorennja ta prystrij dlja jogo realizacii. Mashhenko S.V. pryoritet 12.2002 Opub. Bjul. №12 15.12.2003.
6. Mashhenko S.V. Isкusstvennyj intellekt. 2006. № 1
7. Patent Ukrainy№ 87719. Mobil'nyj krokujuchyj robot.Mashhenko S.V. Zadniprjannij O.M. Opub. Bjul. № 15 10.08.2009.
8. Patent Ukrainy№ 89090.Avtomatychnyjzarjadnyjprystrij. Mashhenko S.V. Opub. Bjul. № 24 25.12.2009.
9. Patent Ukrainynakorysnu model' № 62557 Sнstema kontrolju i keruvannja viddalenymy ob'jektamy. Mashhenko S.V. Zarejestrovano 12.09.2011.
10. Patent Ukrainy na vinahid № 96197 Prystrij keruvannja ob'jektom. Mashhenko S.V. Zareєstrovano 10.10.2011.

***RESUME***

***S.V. Maschenko, A.N. Zadnepryanny***

## *Robot walking on a stair*

Realization of the walking system of the mobile robot designed to operate in an environment dangerous to humans is considered in the article.

The system is a way of walking robots using the algorithm of dynamic balance, which is potentially more reliable than the technique zero point, as this technology constantly monitors the movement of the robot, and sets its feet so as to preserve stability of the housing.

The design of the walking system is based on the principle of minimal sufficiency. The walking movement is realized by only two motors. To increase the length of the third step, a low-power electric balancing design movedby the balancing weight, which is used as a battery, is provided. Designed striding system is much easier and much less expensive than existing counterparts.

The main means of walking are two legs that can move relative to each other in the longitudinal and vertical directions. One leg can only move left and right, the latter only up and down. The design of the mechanism boxer walking two screw mechanism with straight rails and carriages. Mechanisms are standardized, but different moments and longitudinal velocities. To balance the robot, walking balancing mechanism is designed with a flexible leading element.

The design allows the robot to move in balanced standard stairwells of buildings. The article shows one of the possible algorithms for walking motion on the stairs.

*Статья поступила в редакцию 29.08.2012.*